Technical Note

Public Works Canada | Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 4: August, 1982

Heating Load Calculation for Outdoor Swimming Pools

1. SYNOPSIS

A method of calculating the heating load for outdoor swimming pools is provided whereby heat derived from passive solar gain is subtracted from the total heat loss. The result is the heating load to be met by the active solar system.

2. PROBLEM DEFINITION

Sizing a solar system for use with outdoor swimming pools is somewhat complicated due to the difficulty in determining the hot water heating load. This is because there are six distinct modes of heat loss from the pool and two modes of heat gain:

Heat Loss	Heat Gain
• conduction	• direct passive solar gain
• convection	• use of an auxiliary source (petroleum products, electricity or active solar)
• radiation	
• evaporation	
• spillage	
• backwash	

. . ./2

3. ASSUMPTIONS

1) All temperatures are average monthly values.

2) The insolation is the mean average daily solar radiation on a horizontal surface for the given month.

3) The sky temperature is always 10°C less than the ambient temperature.

4) When the pool is not covered with a pool blanket there will always be convective and radiative heat losses. This implies that the ambient temperature and the sky temperature are always less than the pool temperature.

5) The convective heat transfer coefficient is derived using the average monthly wind speed.

6) Water makeup due to spillage is 15 litres per person per day.

7) The pool absorbs 65% of all incident radiation on its surface.

4. SYMBOLS

Ap - surface area of the top of the pool, m^2
As - total surface area of the walls and the bottom of the pool, m^2
I - mean average solar radiation on a horizontal surface, $kJ/(m^2.d)$
Qbw - heat loss due to backwash, per unit time, kJ/d
Qcd - conductive heat loss, per unit time, kJ/d
Qcv - convective heat loss, per unit time, kJ/d
Qe - evaporative heat loss, per unit time, kJ/d
QHL - heating load, per unit time, kJ/d
Qs - heat loss due to spillage, per unit time, kJ/d
Qsg - heat gain due to direct passive solar, per unit time, kJ/d
Qr - radiative heat loss, per unit time, kJ/d
Pw - partial pressure exerted by the pool surface at 100% relative humidity, kPa

. . ./3

P - partial pressure exerted by the moisture in the air at the average daily relative humidity, kPa

Ta - average monthly air temperature, °C

Ts - average monthly soil temperature, °C

Tsky - average monthly sky temperature, °C

Tw - average monthly pool water temperature, °C

U - overall conductive heat transfer coefficient of the pool wall and pool floor, $W/(m^2.°C)$

Cp - specific heat of water, kJ/(kg.°C)

hcv - convective heat transfer coefficient, $W/(m^2.°C)$

ms - water makeup attributed to spillage, L/(person.d)

mbw - mass of water pumped to drain during backwash, kg

n - number of persons using the pool per day

tcr - fraction of the day during which convective and radiative heat losses occur

te - fraction of the day the pool is <u>not</u> covered by a pool blanket

ε - normal total emissivity for water

η - effectiveness of the pool blanket to supress convective and radiative losses

σ - Stefan Boltzmann constant, $W/(m^2.K^4)$

5. METHOD

5.1 Heat Losses

i) Conduction

- conduction is the heat transfer through a material or materials by physical contact.

- energy is transferred through the walls and the bottom of the pool by conduction.

. . ./4

- the driving force for conduction is the temperature gradient established between the pool water and the relatively cooler surrounding mass, either earth or air.

- the conductive heat losses take the following form:

$$Qcd = 86.4\ U\ As\ (Tw-Ts),\ kJ/d \quad (1)$$

Note: 1 watt = 86.4 kJ/d

- above-ground pools will require the conductive heat losses to be calculated in two separate components: one for the area in contact with earth and one for the area in contact with air.

ii) Convection (see Figure 1)

- convection is the transfer of heat from one point to another within a gas or liquid by mixing.

- energy is transferred from the upper surface of the pool to the surrounding air mass by convection.

- the driving force for convection is the relative motion between the air and the pool surface.

- convective heat losses take the following form:

$$Qcv = 86.4\ hcv\ Ap\ (Tw - Ta),\ kJ/d \quad (2)$$

iii) Radiation

- radiation is the transfer of energy through space from a warm surface to a relatively cooler surface by means of electromagnetic waves.

- energy is transferred from the warm pool surface to the sky by radiation.

- the driving force for radiation is the temperature difference between the emitting and the receiving surfaces.

. . ./5

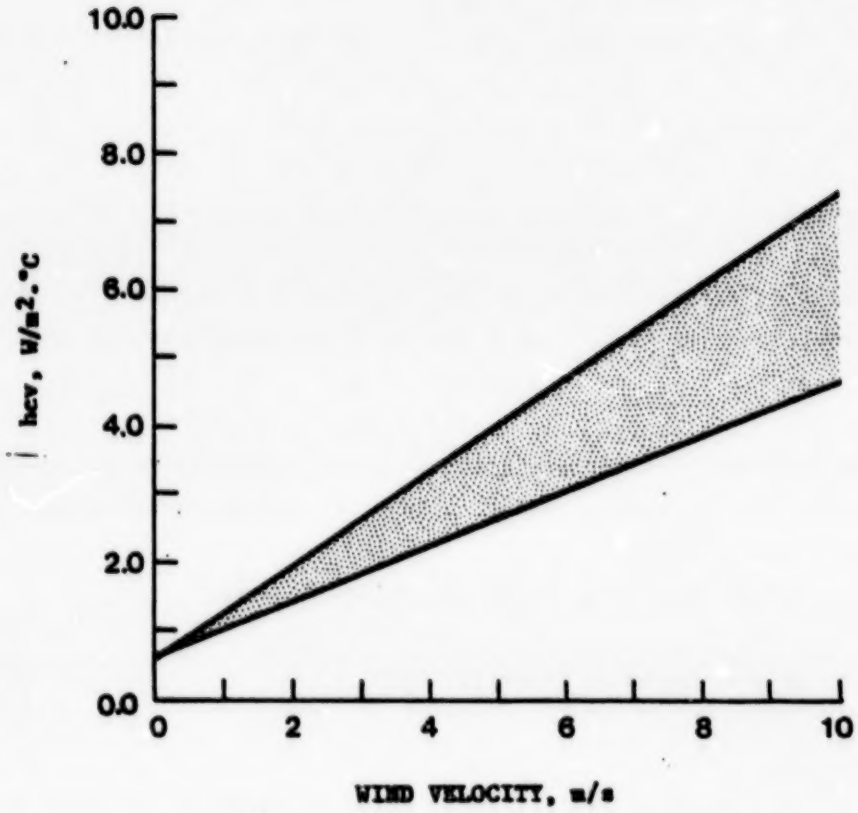

Fig.1: Range of acceptable heat transfer coefficients

(From: Solar Heating for Swimming Pools
Florida Conservation Foundation 1980)

- radiative heat losses take the following form:

$$Qr = 86.4\ \sigma\ Ap\ \varepsilon\ \{(Tw + 273)^4 - (Tsky + 273)^4\},\ kJ/d \quad (3)$$

where

σ = Stefan Boltzmann constant
= 5.669×10^{-8}, $W/(m^2.K^4)$

ε = normal total emissivity for water between 0°C and 100°C
= .96

Tsky = Ta - 10°C

iv) Evaporation

- energy is transferred to ambient air when the warm pool water at the pool surface changes state from liquid to gas, taking with it large quantities of heat.

- the driving force for evaporation is the vapour pressure gradient established between the pool surface and the surrounding air.

- evaporative heat losses take the following form:

$$Qe = 24\ Lw\ Ke\ Ap\ (Pw - P),\ kJ/d$$

where

Lw = latent heat of evaporation of water at the pool surface temperature
= 2437 $\frac{kJ}{kg}$

Ke = the approximate mass transfer coefficient in $kg/(m^2.h.kPa)$
= 6.6×10^{-3} hcv

therefore

$$Qe = 386\ hcv\ (Pw - P),\ kJ/d \quad (4)$$

Note: Partial pressures can be obtained from ASHRAE tables or a phychometric chart.

. . ./6

v) Spillage

- energy is lost from the pool by water which is splashed out of the pool and water which is carried out by people leaving the pool.

- spillage is directly dependant on the number of people using the pool. Typical makeup levels for spillage are 15 litres per person per day, therefore ms = 15 n

  where n = number of persons using the pool per day.

- the heat loss due to spillage takes the following form:

$$Qs = ms\ Cp\ (Tw - Ts)$$
$$= 15\ n\ Cp\ (Tw - Ts),\ kJ/d \quad (5)$$

where Cp = 4.19 kJ/(kg.°C)

vi) Backwash

- depending on the location and size of the pool, the type of filter used, and the quality of the environment, the pool may require backwashing up to once every two or three days or as little as once every two or three weeks.

- there are several methods to determine the amount of heated water that is pumped to drain during a typical backwash. The simplest might be:

  1. determine the depth of water which has been pumped from the pool during one backwash, m
  2. knowing the surface area of the pool (m^2), determine the total volume of water (m^3) pumped from the pool during backwash. Convert this volume of water to mass (kg) by multiplying by 1000 kg/m^3.
     mbw = 1000 x (Ap x depth), kg

. . ./7

3. the heat loss attributed to backwash is then

Qbw = mbw Cp (Tw-Ts)/(number of days between backwashes), kJ/d (6)

vi) Typical heat losses

- a number of sample calculations indicate that typical heat losses for outdoor swimming pools exposed to the Canadian climate are of the following order:

evaporation	65-75%
conduction	1-2%
convection	4-8%
radiation	10-15%
spillage	1-2%
backwash	5-15%

- a pool blanket can reduce the total heat loss by 40-50% if the pool is covered for 12 hours per day, since the blanket cuts down evaporation, convection and radiation losses.

5.2 Heat Gain

Direct Passive Solar Gain

- the surface of an outdoor pool acts as a very good solar collector.
- direct passive gain at the pool surface is in the order of 65% efficient

Qsg = 0.65 I Ap, kJ/d (7)

. . ./8

6. HEATING LOAD CALCULATION

The positive difference between the heat loss and the heat gain will be the amount of heat that has to be added to the pool by an auxiliary source. This is referred to as the heating load (QHL).

$$QHL = \{Qcd + tcr\ (Qcv + Qr) + te\ Qe + Qs + Qbw - Qsg\},\ kJ/d \quad (8)$$

where

$$tcr = te + (1 - \eta)\ (1 - te)$$

The value of QHL can then be used as input for FCHART and similar design aids.

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-8817

N° 4: Août 1982

Calcul de charge calorifique pour les piscines extérieures

1. RÉSUMÉ

La présente note présente une méthode de calcul de la charge calorifique pour les piscines extérieures; cette méthode soustrait de la perte de chaleur totale, la chaleur obtenue en gain solaire passif. Le résultat constitue la charge calorifique que doit subir le système solaire actif.

2. DÉFINITION DU PROBLÈME

Le choix de la taille d'un système solaire pour le chauffage des piscines extérieures est quelque peu compliqué par suite de la difficulté de déterminer la charge calorifique de l'eau chaude.

Celà est dû au fait qu'il existe six mécanismes distincts de perte, et deux de gain, de chaleur dans une piscine:

Perte de chaleur	Gain de chaleur
. conduction	. gain solaire passif direct
. convection	. utilisation d'une source auxiliaire (produits du pétrole, électricité ou système actif
. radiation	
. evaporation	
. débordements	
. lavage à contre-courant	

3. HYPOTHÈSES

1) Toutes les températures sont des valeurs mensuelles moyennes.

2) L'insolation est le rayonnement solaire quotidien moyen sur une surface horizontale pour un mois donné.

3) La température du ciel est toujours de 10°C inférieure à la température ambiante.

4) Lorsque la piscine n'est pas recouverte d'une toile, il y a toujours perte de chaleur pas convection et par rayonnement. Cela veut dire que la température ambiante et la température du ciel sont inférieures à la température de la piscine.

5) Le coefficient de transfert de chaleur par convection est obtenu en utilisant la vitesse moyenne mensuelle du vent.

6) L'apport d'eau pour compenser les débordements est de quinze litres par personne par jour.

7) La piscine absorbe 65% de tout le rayonnement qui tombe sur sa surface.

4. SYMBOLES

Ap - superficie de la surface de la piscine, en m^2
As - superficie totale des parois et du fond de la piscine, en m^2
I - rayonnement solaire moyen sur une surface horizontale, en $kJ/(m^2.d)$
Qbw - perte de chaleur au lavage à contre-courant par unité de temps, en kJ/d
Qcd - perte de chaleur par conduction par unité de temps, en kJ/d
Qcv - perte de chaleur par convection par unité de temps, en kJ/d
Qe - perte de chaleur par évaporation par unité de temps, en kJ/d
QHL - charge calorifique par unité de temps, en kJ/d
Qs - perte de chaleur due aux débordements par unité de temps, en kJ/d
Qsg - gain de chaleur dû à l'apport solaire passif direct par unité de temps, en kJ/d

Qr - perte de chaleur par rayonnement, par unité de temps, en kJ/d

Pw - pression partielle exercée par la surface de la piscine, en kPa

P - pression partielle exercée par l'humidité de l'air à l'humidité relative moyenne quotidienne, en kPa

Ta - température moyenne mensuelle de l'air,en °C

Ts - température moyenne mensuelle du sol, en °C

Tsky - température moyenne mensuelle du ciel, en °C

Tw - température moyenne mensuelle de l'eau de la piscine, en °C

U - coefficient général de transfert de chaleur par conduction, pour les parois et le fond de la piscine, en $W/(m^2.°C)$

Cp - chaleur massique de l'eau, en kJ/(kg.°C)

hcv - coefficient de transfert de chaleur par convection, $W/(m^2.°C)$

ms - apport d'eau pour compenser les débordements, (L/personne.d)

mbw - masse d'eau évacuée a l'égout pendant le lavage à contre-courant, en kg

n - nombre de personnes se servant de la piscine par jour

tcr - fraction de la journée pendant laquelle il y a perte de chaleur par convection et par rayonnement

te - fraction de la journée pendant laquelle la piscine n'est pas recouverte d'une toile

ε - pouvoir émissif total normal de l'eau

η - efficacité de la toile de la piscine à supprimer les pertes par convection et par rayonnement

σ - constante Stefan Boltzman en $W/(m^2.K^4)$

5. METHODE

5.1 Pertes de chaleur

1) Conduction

- La conduction est le transfert de chaleur au travers d'un ou de plusieurs matériaux par contact physique.

- L'énergie est transférée au travers des parois et du fond de la piscine par conduction.

- La force responsable de la conduction est le gradient de température créé entre l'eau de la piscine et la masse relativement plus froide qui l'entoure, qu'il s'agisse de terre ou d'air.

- Les pertes de chaleur par conduction prennent la forme suivante:

  $Qcd = 86.4\ U\ As\ (Tw-Ts)$, en kJ/d (1)

  (1 watt = 86.4 kJ/d)

- Pour les piscines hors-sol, il faut calculer les pertes de chaleur par conduction en deux composantes; celle de la superficie en contact avec la terre et celle de la superficie en contact avec l'air.

ii) Convection (voir Figure 1)

- La convection est le transfert de chaleur d'un point à un autre à l'intérieur d'un gaz ou d'un liquide par mélange.

- L'énergie est transférée de la surface de l'eau de la piscine à la masse d'air qui l'entoure par convection.

- L'énergie est transférée de la surface de l'eau de la piscine à la masse d'air qui l'entoure par convection.

- La force responsable de la convection est le mouvement relatif entre l'air et la surface de la piscine.

- Les pertes de chaleur par convection prennent la forme suivante:

  $Qcv = 86.4\ hcv\ Ap\ (Tw - Ta)$, en kJ/d (2)

iii) Rayonnement

- Le rayonnement est le transfert d'énergie, à travers l'espace, d'une surface chaude à une surface plus froide au moyen d'ondes électromagnétiques.

- L'énergie est transférée de la surface chaude de la piscine au ciel par rayonnement.

- La force responsable du rayonnement est la différence de température entre les surfaces émettrices et réceptrices.

- Les pertes de chaleur dues au rayonnement prennent la forme suivante:

$$Qr = 86.4 \quad \sigma \; Ap \; \varepsilon \; \{(Tw + 273)^4 - (Tsky + 273)^4\}, \text{ en kJ/d} \quad (3)$$

avec

σ = constante Stefan Boltzman
= 5.669×10^{-8} W/($m^2.K^4$)

ε = pouvoir émissif total normal de l'eau entre 0°C et 100°C
= .96

Tsky Ta - 10°C

iv) Evaporation

- L'énergie est transférée à l'air ambiant lorsque l'eau chaude à la surface de la piscine change d'état et passe d'un liquide à un gaz, emportant une quantité importante de chaleur.

- La force responsable de l'évaporation est le gradient de la tension de vapeur d'eau dans l'air humide, créé entre la surface de la piscine et l'air qui l'entoure.

- Les pertes de chaleur par évaporation prennent la forme suivante:

$$Qe = 24 \; Lw \; Ke \; Ap \; (Pw - P), \text{ en kJ/d}$$

avec

Lw = chaleur latente d'évaporation de l'eau à la temperature de la surface de la piscine
= 2437 $\frac{kJ}{kg}$

Ke = le coefficient approximatif de transfert de masse en kg/(m^2.h.kPa)
= 6.6×10^{-3} hcv

et par conséquent

$$Qe = 386 \; hcv \; (Pw - P), \text{ en kJ/d} \quad (4)$$

Remarque: les pressions partielles peuvent être obtenues a l'aide des tableaux ASHRAE ou d'une graphique phychrométrique.

v) Débordements

- De l'énergie est perdue par la piscine par l'eau projetée à l'extérieur et par les personnes qui sortent de la piscine.

- Les débordements dépendent directement du nombre de personnes qui utilisent la piscine. Le remplissage compensatoire typique est de quinze litres par personne par jour.

  et par conséquent
  ms = 15n

  avec n, le nombre de personnes se servant de la piscine par jour.

- La perte de chaleur due aux débordements prend la forme suivante:

$$Qs = ms\ Cp\ (Tw - Ts)$$
$$= 15n\ Cp\ (Tw-Ts), \text{ en kJ/d} \quad (5)$$

avec Cp = 4.19 kJ/(kg.°C)

vi) Lavage à contre-courant

- La fréquence des lavages à contre-courant peut varier entre une fois tous les deux ou trois jours et une fois toutes les deux ou trois semaines, selon l'emplacement et les dimensions de la piscine, le type de filtre utilisé et la qualité de l'environnement.

- Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la quantité d'eau chauffée qui est vidangée par pompage pendant un lavage à contre-courant, la plus simple étant peut-être la suivante:

  1. déterminer l'épaisseur d'eau qui a été évacuée de la piscine par pompage au cours d'un lavage à contre-courant: m;

  2. connaissant la superficie de la piscine (m^2), déterminer le volume global de l'eau pompée (m^3) hors de la piscine pendant le lavage. Convertissez ce volume d'eau en masse (kg) en multipliant par 1000 kg/m^3.
     mbw = 1000 x (A x épaisseur), kg

3. la perte de chaleur attribuable au lavage à contre-courant est donc:

Qbw = mbw Cp (Tw-Ts)/(Nombre de jours entre lavages), en kJ/d (6)

vii) Pertes de chaleur typiques

- un certain nombre de calculs types indiquent que les pertes de chaleur typiques pour les piscines extérieures exposées au climat canadien sont de l'ordre suivant:

évaporation	65-75%
conduction	1-2%
convection	4-8%
rayonnement	10-15%
débordements	1-2%
lavage à contre-courant	5-15%

- une toile peut réduire la perte totale de chaleur de 40 à 50% si la piscine est recouverte 12 heures par jour, puisque la toile réduit considérablement les pertes par évaporation, par convection et par rayonnement.

5.2 Gains de chaleur

Gain solaire passif

- la surface d'une piscine extérieure se comporte comme un très bon capteur solaire.

- le gain passif direct à la surface de la piscine a un rendement de l'ordre de 65%

Qsg = 0.65 I Ap, en kJ/d (7)

6. CALCUL DE LA CHARGE CALORIFIQUE

La différence positive entre la perte de chaleur et le gain de chaleur est la quantité de chaleur qui doit être ajoutée à la piscine par une source auxiliaire. C'est ce qu'on appelle la charge calorifique (QHL).

$$QHL = \{ Qcd + tcr\ (Qcv + Qr) + te\ Qe + Qs + Qbw - Qsg \}\ , \text{ en kJ/d} \quad (8)$$

avec

$$tcr = te + (1 - \eta)\ (1 - te)$$

La valeur de QHL peut ensuite être utilisée comme élément d'entrée pour FCHART et d'autres outils de conception analogues.

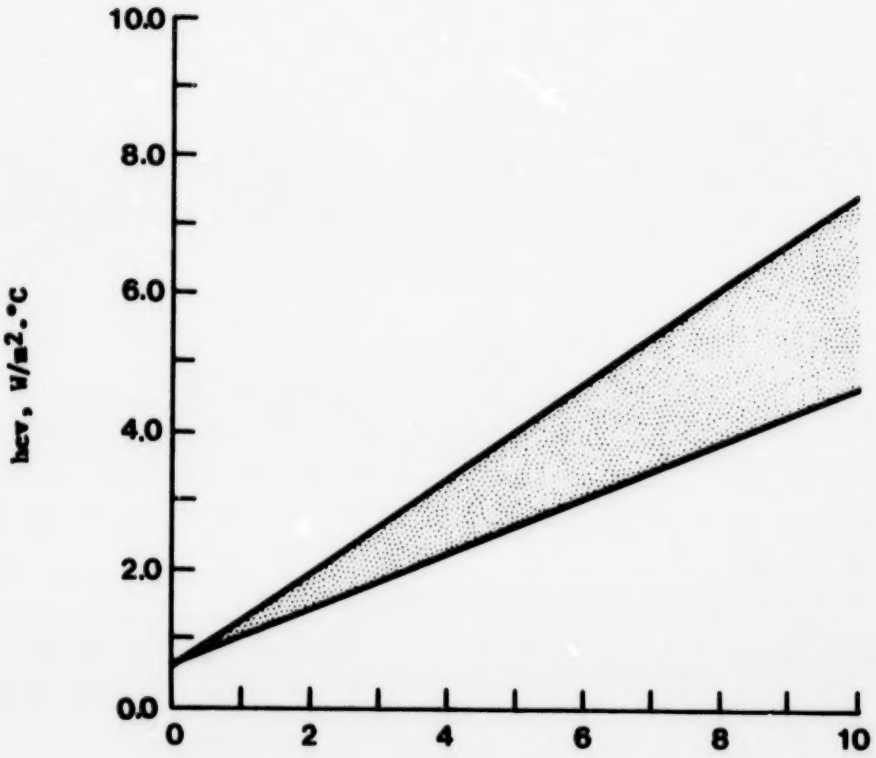

Fig.1: Gamme des coefficients de transfert de chaleur acceptables

(d'après: Solar Heating for Swimming Pools
Florida Conservation Foundation 1980)